



30 Unionspriorität:
10-204066 17. 07. 1998 JP

71 Anmelder:
Alps Electric Co., Ltd., Tokio/Tokyo, JP

74 Vertreter:
Klunker, Schmitt-Nilson, Hirsch, 80797 München

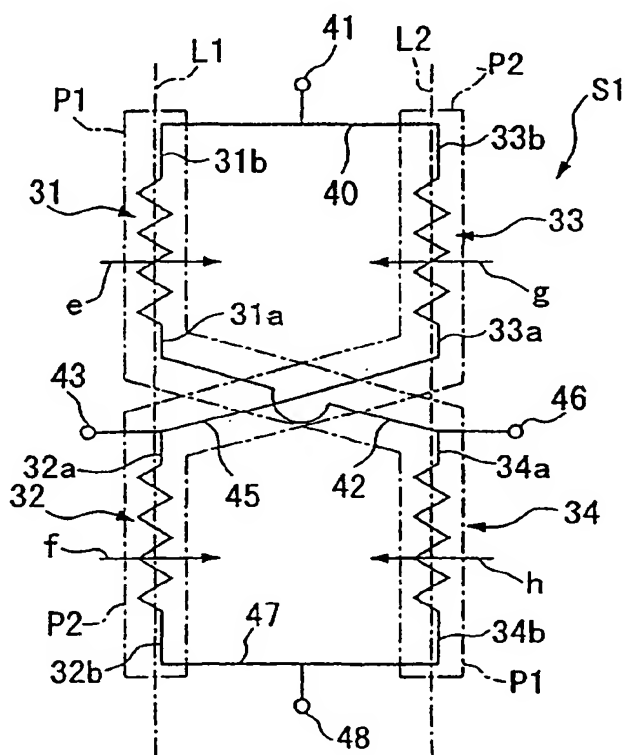
72 Erfinder:
Tokunaga, Ichirou, Furukawa, Miyagi, JP; Kikuchi,
Seiji, Miyagi, JP; Sasaki, Yoshito, Nagaoka, Niigata,
JP; Hatanai, Takashi, Nagaoka, Niigata, JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Magnetfeldsensor mit Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen sowie Verfahren und Vorrichtung zu seiner Herstellung

57 Ein Magnetfeldsensor enthält ein erstes und ein zweites Magnetowiderstandselement (31, 32) auf einer ersten Geraden (L1), wobei die Magnetisierung einer fixierten magnetischen Schicht in einer festgelegten Richtung orientiert ist. Ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement (33, 34) liegen auf einer zweiten, zu der ersten Geraden parallelen Geraden. Die Magnetisierung der fixierten magnetischen Schichten des dritten und des vierten Magnetowiderstandselements ist bezüglich des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements um 180° versetzt. Hierdurch läßt sich die Magnetisierung in einfacher Weise durchführen.



Beschreibung

Hintergrund der Erfindung

Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Magnetfeldsensor mit Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen (diese werden im folgenden kurz als Magnetowiderstandselemente bezeichnet), die signifikante Änderung des magnetischen Widerstands in Abhängigkeit von Änderungen eines externen Magnetfelds hervorrufen, außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Herstellen eines solchen Sensors.

Stand der Technik

Aus dem Stand der Technik ist als Magnetfeldsensor mit Magnetowiderstandselementen ein Magnetfeldsensor bekannt, der in Brückenschaltung vier Magnetowiderstandselemente aufweist, wie dies in der japanischen ungeprüften Patentanmeldung Hei 8-226960 beschrieben ist.

Der in dieser Schrift offenbarte Magnetfeldsensor A ist gemäß Fig. 12 so aufgebaut, daß Magnetowiderstandselemente 1, 2, 3 und 4 mit Abstand voneinander angeordnet sind. Die Magnetowiderstandselemente 1 und 2 sind über einen Leiter 5 verbunden, die Magnetowiderstandselemente 1 und 3 sind über einen Leiter 6 verbunden, die Magnetowiderstandselemente 3 und 4 sind über einen Leiter 7 verbunden, die Magnetowiderstandselemente 2 und 4 sind über einen Leiter 8 verbunden, ein Eingangsanschluß 10 ist mit dem Leiter 6 verbunden, ein Eingangsanschluß 11 ist an den Leiter 8 angeschlossen, ein Ausgangsanschluß 12 ist mit dem Leiter 5 verbunden und ein Ausgangsanschluß 13 ist mit dem Leiter 7 verbunden.

Die Magnetowiderstandselemente 1, 2, 3 und 4 besitzen jeweils eine Sandwichstruktur, in der ferromagnetische Schichten 16 und 17 oberhalb und unterhalb einer nichtmagnetischen Schicht 15 angeordnet sind, wobei eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht 18, beispielsweise in Form einer antiferromagnetischen Schicht, auf der einen ferromagnetischen Schicht (der fixierten Magnetschicht) 16 angeordnet ist, damit eine Austauschkopplung über diese Austausch-Vormagnetisierungsschicht 18 erreicht und die Magnetisierungsrichtung der ferromagnetischen Schicht 16 auf eine Richtung festgelegt wird. Außerdem wird die Magnetisierungsrichtung der anderen ferromagnetischen Schicht (der freien magnetischen Schicht) frei drehbar ist, nach Maßgabe der Richtung eines äußeren Magnetfelds, beispielsweise frei drehbar entlang der Horizontalebene, welche die ferromagnetische Schicht 17 beinhaltet.

In einem Magnetfeldsensor A mit dem in Fig. 12 gezeigten Aufbau wird die Magnetisierungsrichtung der festgelegten oder fixierten Magnetschicht 16 in dem Magnetowiderstandselement 1 in Vorwärtsrichtung gemäß Pfeil 20 in Fig. 13 orientiert. Die Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht 16 des Magnetowiderstandselements 2 wird gemäß Pfeil 21 nach hinten orientiert, die Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht 16 in dem Magnetowiderstandselement 3 wird gemäß Pfeil 23 nach hinten orientiert, und die Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht 16 des Magnetowiderstandselements 4 wird gemäß Pfeil 22 nach vorn orientiert. Die Magnetisierungsrichtungen der freien Magnetschichten 17 in den Magnetowiderstandselementen 1, 2, 3 und 4 werden bei Abwesenheit eines äußeren Magnetfelds nach rechts orientiert, wie in Fig. 12 durch den Pfeil 24 angegeben ist.

Wenn ein äußeres Magnetfeld H auf den in Fig. 12 ge-

zeigten Magnetfeldsensor A einwirkt, dreht sich die Magnetisierungsrichtung 24 der freien Magnetschicht 17 z. B. um einen vorbestimmten Winkel α gemäß Fig. 13 in dem ersten und vierten Magnetowiderstandselement 1 und 4, um sich an das äußere Magnetfeld H anzupassen. Aus diesem Grund ändert sich die Winkelbeziehung bzgl. der Magnetisierungsrichtung 20 der fixierten Magnetschicht 16, was zu einer Änderung des Widerstands führt. Da außerdem die Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht 16 in dem ersten und dem vierten Magnetowiderstandselement 1 und 4 sowie die Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht 16 in dem zweiten und dem dritten Magnetowiderstandselement 2 und 3 einander um 180° entgegengesetzt sind, läßt sich ein Ausgangssignal mit verschiedenen Phasen in einem Zustand der Widerstandsänderung erhalten.

In einem als Brücke verschalteten Magnetfeldsensor A gem. Fig. 12 sind diese Magnetisierungsrichtungen definiert, wie es durch die einzelnen Pfeile angegeben ist. Dies deshalb, weil, wenn die Magnetisierungsrichtung der freien Magnetschicht 17 sich ansprechend auf ein äußeres Magnetfeld H ändert, es zum Erhalten eines Differenzausgangssignals von den Magnetowiderstandselementen 1, 2, 3 und 4 notwendig ist, daß die Magnetisierungsrichtung antiparallel festgelegt ist, d. h. eine um 180° entgegengesetzte Richtung zwischen benachbarten Magnetowiderstandselementen 1, 2, 3 und 4 auf der linken, der rechten, oberen und unteren Seite in Fig. 12 eingestellt ist.

Um die in Fig. 12 dargestellte Struktur zu implementieren, muß man die Magnetowiderstandselemente 1, 2, 3 und 4 derart auf einem Substrat ausbilden, daß sie einander benachbart sind, und man muß die Magnetisierungsrichtung der festgelegten Magnetschicht 16 in jenen Magnetowiderstandselementen in Richtungen fixieren, die voneinander um 180° abweichen. Um die Magnetisierungsrichtung der festgelegten Magnetschicht 16 in dieser Weise zu steuern, ist es notwendig, die Gittermagnetisierung der Austausch-Vormagnetisierungsschicht 18 einzustellen. Zu diesem Zweck ist es notwendig, ein Magnetfeld mit einer vorbestimmten Richtung vorab an die Austausch-Vormagnetisierungsschicht 18 zu legen, die sich in einem Zustand befindet, in dem sie auf eine als "Sperrtemperatur" bezeichnete Temperatur oder darüber aufgeheizt ist, bei welcher der Ferromagnetismus verschwindet, und man muß die Wärmebehandlung so ausführen, daß das Abkühlen erfolgt, während dieses Magnetfeld angelegt bleibt.

Da allerdings bei dem in Fig. 12 dargestellten Aufbau die Magnetisierungsrichtung der Austausch-Vormagnetisierungsschicht 18 für jedes Magnetowiderstandselement 1, 2, 3 und 4 um 180° geändert werden muß, besteht die Notwendigkeit, die Richtung des Magnetfelds für jedes in einem benachbarten Zustand auf dem Substrat ausgebildete Magnetowiderstandselement zu steuern. Mit Hilfe eines Verfahrens, bei dem lediglich ein Magnetfeld durch einen Magnetfelderzeuger, beispielsweise einen Elektromagneten von außen angelegt wird, besteht die Möglichkeit, das Magnetfeld in nur eine Richtung anzulegen, so daß es schwierig ist, die in Fig. 12 dargestellte Struktur zu fertigen.

Aus diesem Grund ist in der japanischen veröffentlichten ungeprüften Hei 8-226960 eine Methode beschrieben, bei der Leitungsschichten entlang den Magnetowiderstandselementen 1, 2, 3 und 4, die in einem benachbarten Zustand auf dem Substrat ausgebildet sind, gestapelt werden, wobei die oben angesprochene Wärmebehandlung dann durchgeführt wird, während Magnetfelder verschiedener Richtungen individuell aus jeder Leitungsschicht dadurch erzeugt werden, daß Ströme in verschiedenen Richtungen durch diese Leitungsschichten geleitet werden, wodurch die in Fig. 12 dargestellte Struktur implementiert werden kann. Obschon es

allerdings erwünscht ist, ein starkes Magnetfeld dadurch zu erzeugen, daß man einen starken Strom durch die Leitungsschicht leitet, um dadurch die Gittermagnetisierung der Austausch-Vormagnetisierungsschicht 18 zu steuern, ist es schwierig, einen starken Strom durch den als Dünnschicht ausgebildeten Leitungsfilm zu schicken, der mit den Magnetowiderstandselementen stapelförmig auf dem Substrat ausgebildet ist, so daß man letztlich mit dem Leiterfilm nur ein Magnetfeld erzeugen kann, welches kein starkes Magnetfeld ist.

Da außerdem Magnetfelder mit verschiedenen Richtungen auf die benachbart zueinander auf dem Substrat ausgebildeten Magnetowiderstandselemente 1, 2, 3 und 4 aus den mehreren Leiterschichten einwirken, besteht ein Problem darin, daß es äußerst schwierig, individuell starke Magnetfelder auf die Austausch-Vormagnetisierungsschicht 18 der einzelnen Magnetowiderstandselemente einwirken zu lassen.

Die vorliegenden Erfindung geht von dem oben erläuterten Zustand aus und zielt ab auf die Schaffung einer Methode zum Implementieren eines Brücken-Magnetfeldsensors mit Magnetowiderstandselementen, bei dem die Brückenschaltung auch dann implementierbar ist, wenn die Magnetisierungsrichtungen eines Satzes von benachbarten fixierten Magnetschichten durch Schaffung einer speziellen Struktur ausgerichtet sind.

Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung eines Magnetfeldsensors, bei dem die Magnetisierung von Austausch-Vormagnetisierungsschichten in vier Magnetowiderstandselementen in den gewünschten Richtungen zuverlässig und individuell gesteuert werden kann, wobei die Magnetowiderstandselemente als Brücke geschaltet sind; dabei soll die Steuerung einfach durchzuführen sein. Außerdem sollen ein Verfahren und eine Vorrichtung für die Fertigung angegeben werden.

Zur Lösung der Aufgabe schafft die vorliegende Erfindung eine Mehrzahl von Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen, im folgenden als Magnetowiderstandselemente bezeichnet, von denen jedes aufweist:

zumindest eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht; eine fixierte Magnetschicht, deren Magnetisierungsrichtung mit Hilfe dieser Austausch-Vormagnetisierungsschicht in eine Richtung fixiert wurde, eine nichtmagnetische Schicht; und eine freie Magnetschicht, deren Magnetisierungsrichtung mit Hilfe eines äußeren Magnetfelds frei drehbar gemacht wurde, wobei die Anordnung dadurch gekennzeichnet ist, daß ein erstes Magnetowiderstandselement und ein zweites Magnetowiderstandselement entlang ihnen zugehörigen ersten Geraden vorgesehen sind, und die Magnetisierung jeder fixierten Magnetschicht in einer festgelegten Richtung orientiert ist, und eine drittes Magnetowiderstandselement und ein viertes Magnetowiderstandselement entlang einer zweiten Geraden parallel zu der ersten Geraden angeordnet sind, und die Magnetisierung jeder fixierten Magnetschicht dieser Magnetowiderstandselemente 180° entgegengesetzt ist zu den Magnetisierungsrichtungen des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements.

Weiterhin ist zur Lösung des oben angesprochenen Problems die Erfindung dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes, ein zweites, ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement entlang einer ersten, einer zweiten, einer dritten, bzw. einer vierten Geraden angeordnet sind, die einander im wesentlichen parallel benachbart sind, daß die Magnetisierung der jeweiligen fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement in einer festgelegten Richtung orientiert ist und daß die Magnetisierung der jeweiligen fixierten Magnetschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement um 180° gegen-

über den Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement versetzt ist.

In der oben erläuterten Struktur können erfindungsgemäß die Magnetowiderstandselemente, deren fixierte Magnetschichten in verschiedene Richtungen magnetisiert sind, in Reihe geschaltet werden, um zwei Sätze von paarweisen Verbindungen herzustellen, wobei ein Ende einer ersten paarweisen Verbindung von Magnetowiderstandselementen mit dem einen Ende einer zweiten paarweisen Verbindung von Magnetowiderstandselementen gekoppelt ist, um einen ersten Verbindungsabschnitt zu bilden, das andere Ende der zweiten paarweisen Verbindung von Magnetowiderstandselementen mit dem anderen Ende der ersten paarweisen Verbindung von Magnetowiderstandselementen verbunden ist, um einen zweiten Verbindungsabschnitt herzustellen, jeder der Verbindungsabschnitte gebildet wird durch einen Mittelpunkt zwischen den in Reihe geschalteten Magnetowiderstandselementen, und ein eingangsseitiger Anschlußabschnitt an einem Paar von Verbindungsabschnitten gebildet wird, während ein Ausgangsanschluß an einem Paar der anderen Verbindungsabschnitte gebildet wird.

Außerdem kann erfindungsgemäß die Struktur derart ausgestaltet sein, daß eine Seite des ersten Magnetowiderstandselements mit einer Seite des vierten Magnetowiderstandselements verbunden ist, eine Seite des zweiten Magnetowiderstandselements mit einer Seite des dritten Magnetowiderstandselements verbunden ist und die andere Seite des ersten Magnetowiderstandselements mit der anderen Seite des dritten Magnetowiderstandselements verbunden ist und die andere Seite des zweiten Magnetowiderstandselements mit der anderen Seite des vierten Magnetowiderstandselements verbunden ist, während ein eingangsseitiger Anschluß an einem von einem Abschnitt zwischen jeweils einer Seite jedes Magnetowiderstandselements an der einen Seite und einem Abschnitt zwischen der jeweils anderen Seite angeschlossen ist, während ein ausgangsseitiger Anschluß an den anderen Abschnitt angeschlossen ist.

Ein erfindungsgemäßes Fertigungsverfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß zum Herstellen eines Magnetfeldsensors mit vier Magnetowiderstandselementen mit jeweils mindestens einer Austausch-Vormagnetisierungsschicht, einer fixierten Magnetschicht, deren Magnetisierungsrichtung mit Hilfe dieser Austausch-Vormagnetisierungsschicht auf eine Richtung festgelegt wurde, einer nichtmagnetischen Schicht und einer freien Magnetschicht, deren Magnetisierungsrichtung mit Hilfe eines äußeren Magnetfelds frei drehbar gemacht wurde, folgende Schritte vorgesehen sind: Es werden ein erstes Magnetowiderstandselement und ein zweites Magnetowiderstandselement entlang ihren zugehörigen ersten Geraden angeordnet, und es wird ein erster elektrischer Leiter entlang der ersten Geraden angeordnet, es werden ein drittes Magnetowiderstandselement und ein viertes Magnetowiderstandselement entlang ihrer zweiten Geraden angeordnet, und es wird ein zweiter elektrischer Leiter entlang der zweiten Geraden ausgebildet, durch den ersten elektrischen Leiter und den zweiten elektrischen Leiter werden Ströme mit voneinander um 180° abweichenden Richtungen geleitet, um durch jeden elektrischen Leiter Magnetfelder zu erzeugen, die Austausch-Vormagnetisierungsschicht in jedem Magnetowiderstandselement wird mit Hilfe der von jedem elektrischen erzeugten Magnetfelder magnetisiert, um dadurch die Magnetisierung jeder der fixierten Magnetschichten festzulegen, die fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement werden in einer festgelegten Richtung orientiert, und die fixierten Magnetschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement werden um 180°

gegenüber den Richtungen in den fixierten Magnetschichten des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements orientiert.

Ein erfindungsgemäßes Fertigungsverfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes, ein zweites, ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement entlang einer ersten, einer zweiten, einer dritten bzw. einer vierten Geraden angeordnet werden, die einander im wesentlichen parallel benachbart sind, daß ein erster elektrischer Leiter entlang dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement ausgebildet wird, ein zweiter elektrischer Leiter entlang dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement ausgebildet wird, daß Ströme mit um 180° voneinander abweichenden Richtungen durch den ersten und den zweiten elektrischen Leiter geführt werden, um aus jedem elektrischen Leiter Magnetfelder zu erzeugen, und die Austausch-Vormagnetisierungsschicht in jedem Magnetowiderstandselement mit Hilfe der von jedem elektrischen Leiter erzeugten Magnetfelder magnetisiert wird, um dadurch die Magnetisierung jeder der fixierten Magnetschichten festzulegen, und daß die fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement in einer festgelegten Richtung orientiert werden, während die fixierten Magnetschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement in einer Richtung orientiert werden, die um 180° von den Richtungen in den fixierten Magnetschichten des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements abweicht.

Bei dem oben erläuterten Fertigungsverfahren wird bevorzugt, den ersten und den zweiten elektrischen Leiter in Reihe zu schalten und beide an die gleiche Stromquelle anzuschließen.

Eine erfindungsgemäße Fertigungsverfahren ist eine Vorrichtung zum Herstellen eines Magnetfeldsensors mit vier Magnetowiderstandselementen, die jeweils mindestens eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht, eine fixierte Magnetschicht, deren Magnetisierungsrichtung mit Hilfe dieser Austausch-Vormagnetisierungsschicht in einer Richtung festgelegt wurde, einer nichtmagnetischen Schicht und einer freien Magnetschicht, deren Magnetisierungsrichtung von einem äußeren Magnetfeld frei drehbar gemacht wurde, wobei ein erstes Magnetowiderstandselement und ein zweites Magnetowiderstandselement entlang einer ihnen zugehörigen ersten Geraden angeordnet werden und ein erster elektrischer Leiter entlang der ersten Geraden ausgebildet ist,

ein drittes Magnetowiderstandselement und ein viertes Magnetowiderstandselement entlang einer ihnen zugehörigen zweiten Geraden angeordnet werden, ein zweiter elektrischer Leiter entlang der zweiten Geraden ausgebildet ist, wobei eine Stromquelle zum Einspeisen von Strömen mit um 180° abweichenden Richtungen durch den ersten und den zweiten elektrischen Leiter vorgesehen ist, die fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement in einer festgelegten Richtung orientiert sind und die fixierten Magnetschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement gegenüber den Richtungen der fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement um 180° entgegengesetzt sind.

Ein erfindungsgemäßes Fertigungsverfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß ein erstes, ein zweites, ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement entlang einer ersten, einer zweiten, einer dritten bzw. einer vierten Geraden angeordnet werden, die einander im wesentlichen parallel benachbart sind, ein erster elektrischer Leiter entlang dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement, ein zweiter elektrischer Leiter entlang dem dritten und dem

vierten Magnetowiderstandselement angeordnet werden, eine Stromquelle zum Einspeisen von Strömen mit zueinander um 180° entgegengesetzten Richtungen in den ersten bzw. den zweiten elektrischen Leiter vorgesehen ist, die fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement in einer festgelegten Richtung orientiert sind, und die fixierten Magnetschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement den Richtungen der fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement um 180° entgegengesetzt sind.

In einer Vorrichtung mit dem oben erläuterten Aufbau wird bevorzugt, den ersten und den zweiten elektrischen Leiter in Reihe zu schalten und diese Reihenschaltung mit derselben Stromquelle zu verbinden. Außerdem werden in diesem Aufbau der erste elektrische Leiter und der zweite elektrische Leiter vorzugsweise in Schleifenform in Reihe geschaltet.

Im folgenden werden Ausführungsbeispiele anhand der Zeichnungen näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 ein Schaltungsdiagramm einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetfeldsensors,

Fig. 2 eine schematische Strukturdarstellung der Stapelstruktur für Magnetowiderstandselemente eines Magnetfeldsensors der ersten Ausführungsform,

Fig. 3 eine Draufsicht auf ein Beispiel eines Magnetfeldsensors, der durch eine aktuelle Herstellung der ersten Ausführungsform auf einem Substrat erhalten wurde;

Fig. 4 eine Querschnittansicht einer konkreten Stapelstruktur von Magnetowiderstandselement, die bei dem in Fig. 3 gezeigten Magnetfeldsensor angewendet wird, wobei außerdem ein angeschlossener Abschnitt eines elektrischen Leiters dargestellt ist;

Fig. 5 eine anschauliche Darstellung des Zustands einer Widerstandsänderung, die in erfindungsgemäß verwendeten Magnetowiderstandselementen in Erscheinung tritt, wenn die Magnetisierungsrichtung der freien Magnetschicht in bezug auf diejenige der fixierten Magnetschicht geändert wurde;

Fig. 6 ein Schaltungsdiagramm einer zweiten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetfeldsensors;

Fig. 7 eine Draufsicht auf eine dritte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetfeldsensors;

Fig. 8 eine Ansicht eines Zustands, in welchem der in Fig. 7 gezeigte Magnetfeldsensor durch eine Fertigungsverfahren magnetisiert wird;

Fig. 9 eine Seitenansicht desselben Zustands,

Fig. 10 eine Draufsicht auf eine vierte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetfeldsensors,

Fig. 11 eine Ansicht der Ausgangsmeßergebnisse, die mit Hilfe eines Magnetfeldsensors dieser Ausführungsform erhalten werden,

Fig. 12 eine schematische Strukturansicht eines Beispiels eines herkömmlichen Magnetfeldsensors; und

Fig. 13 eine Ansicht der Beziehung zwischen der Magnetisierungsrichtung der fixierten Magnetschicht in Magnetowiderstandselementen für den in Fig. 12 gezeigten Magnetfeldsensor einerseits und der freien Magnetschicht andererseits.

Fig. 1 ist ein grundlegendes Schaltungsdiagramm, welches einen Magnetfeldsensor S1 gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung zeigt, Fig. 2 ist eine schematische Strukturdarstellung, die das Grundkonzept veranschaulicht, und Fig. 3 ist eine Draufsicht auf die Struktur eines tatsächlich ausgebildeten Magnetfeldsensors auf einem Substrat.

Der Magnetfeldsensor der ersten Ausführungsform enthält: ein erstes im folgenden vereinfacht als Magnetowiderstandselement bezeichnetes Riesenmagnetoresistenzeffekt-

Element 31, welches in dem Teil oben links in Fig. 1 angeordnet ist, ein zweites Magnetowiderstandselement 32, links unten angeordnet, ein drittes Magnetowiderstandselement 33, rechts oben in Fig. 1 liegend, und ein viertes Magnetowiderstandselement 34, in Fig. 1 rechts unten liegend. Diese Magnetowiderstandselemente 31, 32, 33 und 34 sind sämtlich aus geschichteten Produkten von Dünnschichten zusammengesetzt, die weiter unten noch näher erläutert werden und sämtlich eine lineare, langgestreckte und schmale Form haben. Das erste und das zweite Magnetowiderstandselement 31 und 32 sind entlang einer ersten Geraden L1 in Fig. 1 angeordnet, und das dritte und das vierte Magnetowiderstandselement 33 und 34 sind entlang einer zweiten Geraden L2 angeordnet, die parallel und mit Abstand zu der ersten Geraden L1 verläuft.

Außerdem sind das erste und das dritte Magnetowiderstandselement 31 und 33 an Stellen angeordnet, an denen sie seitlich einander gegenüberstehen, und ebenso sind das zweite und das vierte Magnetowiderstandselement 32 und 34 an Orten angeordnet, an denen sie seitlich einander gegenüberstehen.

Bei dieser Ausführungsform liegen das erste und das zweite Magnetowiderstandselement 31 und 32 auf der gleichen Geraden, und auch das dritte und das vierte Magnetowiderstandselement 33 und 34 sind auf derselben Geraden angeordnet. Diese können in seitlicher Richtung etwas verschoben werden, wobei sie dennoch parallel bleiben, sie können auch eventuell etwas geneigt sein.

Fig. 2 verdeutlicht den grundlegenden Stapelaufbau der Magnetowiderstandselemente 31, 32, 33 und 34 gemäß dieser Ausführungsform, die Figur zeigt außerdem die Magnetisierungsrichtungen jeder ihrer Schichten. Die Magnetowiderstandselemente 31, 32, 33 und 34 haben sämtlich den gleichen Aufbau und sind im wesentlichen dadurch hergestellt, daß eine ferromagnetische Schicht (die freie magnetische Schicht) a, eine nicht-magnetische Schicht b, eine ferromagnetische Schicht (fixierte magnetische Schicht) c und eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (antiferromagnetische Schicht) d in der in Fig. 2 gezeigten Weise übereinandergestapelt sind.

In dem in Fig. 2 gezeigten grundlegenden Stapelaufbau besitzt die fixierte (pinned) Magnetschicht c, die der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d benachbart ist, eine Magnetisierungsrichtung, die mit Hilfe der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d fixiert ist. Konkret: in dem ersten Magnetowiderstandselement 31 werden die Magnetisierungsrichtungen der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d und der fixierten Magnetschicht c so eingestellt, daß sie gemäß Pfeil e nach rechts weisen, während in dem zweiten Magnetowiderstandselement 32 die Magnetisierungsrichtungen der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d und der fixierten Schicht c gemäß Pfeil f nach rechts weisen.

In dem dritten Magnetowiderstandselement 33 sind die Magnetisierungsrichtungen der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d und der fixierten Magnetschicht c so eingestellt, daß sie gemäß Pfeil g nach links weisen, während in dem vierten Magnetowiderstandselement 34 die Magnetisierungsrichtungen der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d und der fixierten Magnetschicht c so eingestellt sind, daß sie gemäß Pfeil h nach links weisen. Deshalb verlaufen die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschichten c in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement 31 und 32 parallel zueinander, während die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschicht c in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement 33 und 34 ihrerseits parallel zueinander verlaufen. Außerdem sind die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschicht c in dem ersten und dem zweiten Magnetowider-

standselement 31 und 32 um 180° entgegengesetzt bezüglich derjenigen der fixierten Magnetschicht c in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement 33 und 34.

Die Magnetisierung der freien Magnetschichten a in dem ersten, dem zweiten, dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement 31, 32, 33 und 34 ist bei Fehlen eines von außen angelegten Magnetfelds in unspezifizierte Richtungen orientiert.

Eine Seite 31a des ersten Magnetowiderstandselements 31 und eine Seite 34a des vierten Magnetowiderstandselements 34 sind über einen elektrischen Leiter 42 miteinander verbunden, wobei dieser elektrische Leiter 42 einen Verbindungsabschnitt bildet und an diesen aus dem elektrischen Leiter 42 bestehenden Verbindungsabschnitt ein Anschluß 42 angebracht ist. Eine Seite 32a des zweiten Magnetowiderstandselements 32 und eine Seite 33a des dritten Magnetowiderstandselements 33 sind über einen elektrischen Leiter 45 miteinander verbunden, der einen Verbindungsabschnitt bildet, an den ein Anschluß 46 angeschlossen ist. Außerdem sind die andere Seite 31b des ersten Magnetowiderstandselements 31 und die andere Seite 33b des dritten Magnetowiderstandselements 33 über einen elektrischen Leiter 40 verbunden, der einen Verbindungsabschnitt bildet, an den ein Anschluß 41 angeschlossen ist. Die andere Seite 32b des zweiten Magnetowiderstandselements 32 und die andere Seite 34b des vierten Magnetowiderstandselements 34 sind über einen elektrischen Leiter 47 miteinander verbunden, der einen Verbindungsabschnitt bildet, an den ein Anschluß 48 angeschlossen ist.

Das erste Magnetowiderstandselement 31 und das vierte Magnetowiderstandselement 34 sind hierdurch in Serie geschaltet und bilden eine erste paarweise Verbindung P1, und das zweite Magnetowiderstandselement 32 und das dritte Magnetowiderstandselement 33 sind in Reihe geschaltet und bilden eine zweite paarweise Verbindung P2.

Fig. 3 zeigt ein Beispiel eines Magnetfeldsensors 511, der Magnetowiderstandselemente 31a, 32a, 33a und 34a enthält, die den gleichen Aufbau besitzen wie die Magnetowiderstandselemente 31, 32, 33 und 34, die den in Fig. 1 und 2 gezeigten Grundaufbau besitzen, ferner besitzt der Magnetfeldsensor elektrische Leiter 40, 42, 45 und 47 sowie Anschlüsse 41, 43, 46 und 48, die auf einem Substrat K stapelförmig ausgebildet sind.

Bei diesem Beispiel des Magnetfeldsensors 511 besteht das Substrat K aus nichtmagnetischem Isolierstoff, beispielsweise ist es als Si-Substrat ausgebildet, und das Substrat ist auf seiner Oberseite mit einer Grundschrift versehen, die Al_2O_3 enthält, um die Isoliereigenschaften auszugleichen oder zu verbessern.

Auf diesem Substrat K sind lineare Magnetowiderstandselemente 31A, 32A, 33A und 34A ausgebildet, die im wesentlichen die in Fig. 2 dargestellte Stapelstruktur aufweisen, wobei sie entlang den Geraden L1 und L2 in Fig. 1 angeordnet sind, die elektrischen Leiter 40, 42, 45 und 47 bestehen aus leitendem Metall, beispielsweise Cr und Cu, und über diese Leiter sind die Magnetowiderstandselemente verbunden, und es gibt Anschlüsse 41, 43, 46 und 48, die an den Eckbereichen des Substrats K angeordnet sind. Der detaillierte Querschnitt des Magnetowiderstandselements 31 dieser Form ist in Fig. 4 dargestellt. Das Magnetowiderstandselement 31 ist in dieser Form mit einem trapezförmigen Querschnitt ausgebildet, in dem eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (antiferromagnetische Schicht) d, eine fixierte Magnetschicht c, eine subferromagnetische Schicht m, eine nichtmagnetische Schicht b, eine subferromagnetische Schicht n und eine freie Magnetschicht a ausgehend von dem Substrat K stapelförmig ausgebildet sind, wobei

die elektrischen Leiter an der Seite dieser schichtweisen Produkte angeordnet sind, um mit der betreffenden jeweiligen Schicht in Kontakt zu stehen. Gemäß Fig. 1 kann der Querschnittaufbau so gestaltet sein, daß der Verbindungsbereich zwischen den Endabschnitten jeder Schicht und den elektrischen Leitern über eine Vormagnetisierungsschicht erfolgt, um die freie Magnetschicht a in mehrere Einzeldomänen aufzuteilen.

In der in Fig. 4 gezeigten Struktur sind die subferromagnetischen Schichten m und n Schichten aus ferromagnetischem Material wie Co und einer Co-Legierung, die deshalb vorgesehen sind, um den magnetoresistiven Effekt stärker zum Ausdruck zu bringen. Man kann diese Schichten weglassen. Außerdem kann die Reihenfolge des Stapels aus der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d, der fixierten Magnetschicht c, der subferromagnetischen Schicht m, der nichtmagnetischen Schicht b, der subferromagnetischen Schicht n und der freien Magnetschicht a umgekehrt werden.

Um die Schichtstruktur der Magnetowiderstandselemente zu konkretisieren, gibt es z. B. eine $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3\text{-Sx}$ (Die Austausch-Vormagnetisierungsschicht)/NiFe-Schicht (fixierte Magnetschicht)/Co-Schicht (subferromagnetische Schicht)/Cu-Schicht (nicht magnetische Schicht)/Co-Schicht (subferromagnetische Schicht)/NiFe-Schicht (freie Magnetschicht). Auf Wunsch kann eine Al_2O_3 -Schicht unterhalb der $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Schicht als Strom-Nebenschlußschicht vorgesehen sein. Zusätzlich zu der oben erläuterten Struktur können auch beispielhafte Magnetowiderstandselemente mit folgender Stapelstruktur vorgesehen sein: $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Schicht/Co-Schicht/Cu-Schicht/Co-Schicht/NiFe-Schicht/Co-Schicht/Cu-Schicht/Co-Schicht/ $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Schicht. Außerdem kann für die Austausch-Vormagnetisierungsschicht jede Schicht verwendet werden, so lange die Magnetisierungsrichtung einer fixierten Magnetschicht in ihrer Nachbarschaft festgelegt werden kann, und deshalb kann man zusätzlich zu der $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ -Schicht beispielsweise eine FeMn-Schicht, eine NiMn-Schicht, eine NiO-Schicht, eine IrMn-Schicht, eine CrPtMn-Schicht, eine PdPtMn-Schicht, eine MnRhRu-Schicht, eine PtMn-Schicht oder dergleichen vorgesehen sein.

Wenn äußere Magnetfelder H1, H2, H3 und H4 auf den in Fig. 1 und Fig. 2 gezeigten Magnetfeldsensor S1 einwirken, dreht sich die Magnetisierungsrichtung jeder freien Magnetschicht a in den Magnetowiderstandselementen 31, 32, 33 und 34, um sich diesen Magnetfeldern H1, H2, H3 und H4 anzupassen, und als Ergebnis erfolgt eine Änderung des elektrischen Widerstands entsprechend dem Drehwinkel.

Um diese Änderung des elektrischen Widerstands zu messen, werden der Anschluß 41 und der Anschluß 48 als Eingang zum Einspeisen eines vorbestimmten Stroms verwendet, die Anschlüsse 43 und 46 werden als Ausgang zum Messen des Widerstands hergenommen.

Fig. 5 zeigt das Ansprechverhalten des Widerstands auf die Drehung der Magnetisierung der freien magnetischen Schicht a, wenn die Magnetisierungsrichtung der fixierten magnetischen Schicht c in eine Richtung (nach rechts) in dem Magnetowiderstandselement 31 festgelegt ist, hier z. B. entsprechend der Richtung "e". Die Widerstandsänderung zeigt ein Minimum, wenn die Magnetisierungsrichtung e der fixierten magnetischen Schicht c und die Magnetisierungsrichtung k der freien magnetischen Schicht a in die gleiche Richtung ausgerichtet sind, sie zeigt ein Maximum, wenn die Richtungen antiparallel verlaufen, wobei die Änderung während der Spanne dazwischen einer Sinuskurve gemäß Fig. 5 entspricht.

Wenn also ein Zwischenpunkt der Änderung des Widerstands als Ursprung hergenommen wird, was die Polarität

der Widerstandsänderung angeht (einer Richtung, die für die Zunahme als positiv und für die Abnahme als negativ angenommen wird) so besitzen die Magnetowiderstandselemente 31 und 32, die die gleiche Magnetisierungsrichtung wie die fixierte magnetische Schicht c haben, die gleiche Polarität, und außerdem besitzen die Magnetowiderstandselemente 33 und 34 gleiche Polarität. Allerdings haben die Magnetowiderstandselemente 31 und 33 entgegengesetzte Polarität, und genauso verhält es sich bei den Magnetowiderstandselementen 32 und 34. In dem in Fig. 1 und 2 dargestellten Aufbau wird daher eine Wheatstone-Brücke der Magnetowiderstandselemente gebildet, die wirksam als Magnetfeldsensor arbeiten. Bei dem Aufbau in dieser Form läßt sich außerdem – weil die Wheatstone-Brücke durch die Magnetowiderstandselemente 31, 32, 33 und 34 gebildet wird – eine Zunahme des Ausgangssignals (eine Zunahme der Änderungsrate des Widerstands) sowie ein Auslöscheffekt magnetischen Rauschens aufgrund von Änderungen in der Magnetfeldumgebung erreichen (die Beseitigung der Rauschkomponenten bei jedem Magnetowiderstandselement aufgrund der Richtung des Erdmagnetismus, magnetischer Rauschkomponenten und dergleichen).

Fig. 6 zeigt eine zweite Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetfeldsensors S2. Gleiche und entsprechende Teile wie bei der ersten Ausführungsform sind mit gleichen Bezugszeichen versehen.

Bei dem Magnetfeldsensor S2 dieser Ausführungsform gibt es Magnetowiderstandselemente 31, 32, 33 und 34 wie im Fall des Magnetfeldsensors S1 der ersten Ausführungsform, und die Magnetisierungsrichtung ihrer fixierten Magnetschichten sind in der gleichen Richtung ausgerichtet, allerdings unterscheiden sie sich nur teilweise im Verbindungsaufbau aufgrund der elektrischen Leiter.

Ein Ende 31a des ersten Magnetowiderstandselements 31 ist mit dem anderen Ende 33b des Magnetowiderstandselements 33 über einen elektrischen Leiter 51 verbunden, das andere Ende 31b des ersten Magnetowiderstandselements 31 ist mit einem Ende 34a des vierten Magnetowiderstandselements 34 über einen elektrischen Leiter 50 verbunden. Ein Ende 32a des zweiten Magnetowiderstandselements 32 ist mit einem Ende 33a des dritten Magnetowiderstandselements 33 über einen elektrischen Leiter 45 verbunden, wie es bei der ersten Ausführungsform der Fall war, und das andere Ende 32b des zweiten Magnetowiderstandselements 32 ist mit dem anderen Ende 34b des vierten Magnetowiderstandselements 34 über einen elektrischen Leiter 47 verbunden, wie bei der ersten Ausführungsform. Der elektrische Leiter 50 ist an den Anschluß 52 als Verbindungsabschnitt angeschlossen, und der elektrische Leiter 51 ist an den Anschluß 53 als Verbindungsabschnitt angeschlossen.

Bei dieser Struktur sind das erste Magnetowiderstandselement 31 und das vierte Magnetowiderstandselement 34 in Reihe geschaltet, um eine erste paarweise Verbindung P1 zu bilden, außerdem sind das zweite Magnetowiderstandselement 32 und das dritte Magnetowiderstandselement 33 zur Bildung einer zweiten paarweisen Verbindung P2 verbunden.

Bei dem in Fig. 6 gezeigten Aufbau wird durch die Magnetowiderstandselemente 31, 32, 33 und 34 eine Brückenschaltung gebildet, und deshalb läßt sich diese wie im Fall der ersten Ausführungsform als Magnetfeldsensor verwenden.

Fig. 7 zeigt eine dritte Ausführungsform eines Magnetfeldsensors gemäß der Erfindung. Dieser Magnetfeldsensor S3 hat ähnliche Teile wie der in Fig. 3 gezeigte Sensor, entsprechende Teile sind mit gleichen Bezugszeichen versehen, eine nochmalige Beschreibung erfolgt nicht.

Bei dem Magnetfeldsensor S3 gibt es Magnetowider-

standselemente 31A, 32A, 33A und 34A wie im Fall des Magnetfeldsensors S1 der früheren Ausführungsform, und die Magnetisierungsrichtungen ihrer fixierten Magnetschichten sind ebenfalls in die gleiche Richtung ausgerichtet, allerdings unterscheiden sie sich teilweise in der Verbindungsstruktur, die durch die elektrischen Leiter festgelegt wird.

Das andere Ende 31b des ersten Magnetowiderstandselements 31 ist wie im Fall des Aufbaus nach Fig. 3 mit dem anderen Ende 33b des dritten Magnetowiderstandselements 33A über einen elektrischen Leiter 40 verbunden, und ein Ende 31a des ersten Magnetowiderstandselements 31A ist wie im Fall des Aufbaus nach Fig. 3 mit einem Ende 34a des vierten Magnetowiderstandselements 34A über einen elektrischen Leiter 42 verbunden. Ein Ende 32a des zweiten Magnetowiderstandselements 32A ist mit dem anderen Ende 34b des vierten Magnetowiderstandselements 34A über einen elektrischen Leiter 60 verbunden, und das andere Ende 32b des zweiten Magnetowiderstandselements 32 ist mit einem Ende 33a des dritten Magnetowiderstandselements 33A über einen elektrischen Leiter 61 verbunden. Ein Abschnitt des elektrischen Leiters 60 ist zu einem Eckbereich des Substrats K verlängert, um einen Eingangsanschluß 62 zu bilden, und in dem Zwischenbereich des elektrischen Leiters 61 gibt es in dem rechten Eckbereich des Substrats K eine Stelle für einen Ausgangsanschluß 63.

Bei dem in Fig. 7 gezeigten Aufbau wird eine Brückenschaltung durch die Magnetowiderstandselemente 31A, 32A, 33A und 34A gebildet, und diese kann als Magnetfeldsensor wie im Fall der ersten Ausführungsform eingesetzt werden.

Im folgenden wird ein Verfahren zum Fixieren der Magnetisierung einer fixierten Magnetschicht c in jedem der Magnetowiderstandselemente 31A, 32A, 33A und 34A des in Fig. 7 gezeigten Magnetfeldsensors S3 zusammen mit einem Herstellungsverfahren für den Magnetfeldsensor S3 beschrieben.

Um einen Magnetfeldsensor S3 herzustellen, der den in Fig. 7 gezeigten Aufbau hat, werden die benötigten Schichten auf einem Substrat, z. B. einem Si-Substrat, aufgebaut, wozu sich ein Fotolithografie-Prozeß eignet, um die Schichten übereinander niederzuschlagen und die benötigten Musterbildung vorzunehmen.

Zunächst werden Dünnschichten auf einem Substrat entsprechend der gewünschten Schichtstruktur für Magnetowiderstandselemente hergestellt. Im Fall der Magnetowiderstandselemente mit einem Fünfschichtaufbau werden fünf Schichten in Form von Dünnschichten übereinander aufgebaut, im Fall einer Sechsschichtstruktur werden sechs Dünnschichten übereinander gestapelt, im Fall eines Siebenschichtaufbaus werden sieben Dünnschichten übereinander niedergeschlagen.

Als nächstes werden diese übereinanderliegenden Schichten mit einem Resistmaterial überzogen, es erfolgt eine fotolithografische Behandlung, und nur der benötigte Teil bleibt stehen als lineares Magnetowiderstandselement.

Nach dem Entfernen des Resistmaterials werden auf den Magnetowiderstandselementen Elektroden-schichten ausgebildet, anschließend wird den Elektroden-schichten mit Hilfe von Fotolithografie die gewünschte Form gegeben, um die in Fig. 7 dargestellten elektrischen Leiter zu erhalten, und man kann dann einen Magnetfeldsensor S3 gemäß Fig. 7 dadurch erhalten, daß man einen im folgenden noch zu beschreibenden Magnetfeld-Aufprägeprozeß durchführt.

Beim Aufbringen eines Magnetfelds wird z. B. eine Fertigungsverfahren Z eingesetzt, wie sie in Fig. 8 gezeigt ist. Die Fertigungsverfahren Z nach diesem Beispiel besteht hauptsächlich aus einer Unterlage 71 mit einer Ausnehmung

70, deren Breite die Aufnahme des Substrats K des Magnetfeldsensors 53 ermöglicht, einem als Schleife ausgebildeten elektrischen Leiter 72, der auf der Bodenfläche der Ausnehmung 70 ausgebildet ist, und einer Leistungsquelle 73, die an den elektrischen Leiter 72 angeschlossen ist. Der elektrische Leiter 72 ist derart als Schleife ausgebildet, daß er einen ersten linearen elektrischen Leiter 75, einen zweiten linearen elektrischen Leiter 76 parallel zu dem ersten elektrischen Leiter 75 und einen elektrischen Verbindungsleiter 77, der den ersten und den zweiten Leiter 75 und 76 miteinander verbindet, enthält.

Wenn das Substrat K in die Ausnehmung 70 eingesetzt wird, geschieht dies so, daß die Magnetowiderstandselemente 31A und 32A sich oberhalb des ersten elektrischen Leiters 75 befinden, während sich die Magnetowiderstandselemente 33A und 34A oberhalb des zweiten elektrischen Leiters 76 befinden, wie dies in Fig. 9 dargestellt ist. Eine Leistungsquelle 73 dient zum Einspeisen eines Gleichstroms von der Seite des ersten elektrischen Leiters 75 zu der Seite des zweiten elektrischen Leiters 76 hin.

Nach dem Einsetzen des Substrats K in die Ausnehmung 70 gemäß Fig. 8 und 9 bewirkt das Einspeisen eines Gleichstroms aus der Leistungsquelle einen Stromfluß durch den elektrischen Leiter 75 und damit ein im Uhrzeigersinn orientiertes Feld um den elektrischen Leiter 75 herum, wie in Fig. 9 angedeutet ist, während der Stromfluß durch den elektrischen Leiter 76 ein Magnetfeld im Gegenuhrzeigersinn um den elektrischen Leiter 76 herum hervorruft. Deshalb ist es möglich, die Austausch-Vormagnetisierungsschicht d in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement 31A und 32A in die Richtung zu magnetisieren, die in Fig. 8 mit den Pfeilen e bzw. f angegeben ist, während die Austausch-Vormagnetisierungsschicht d in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement 33A und 34A in eine Richtung magnetisiert wird, die in Fig. 8 durch die Pfeile g bzw. h angegeben ist. Mit Hilfe der Austausch-Koppelkraft jeder Austausch-Vormagnetisierungsschicht d können die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschicht c, die der Vormagnetisierungsschicht benachbart ist, in die betreffenden Richtungen fixiert werden (e-Richtung, f-Richtung, g-Richtung und h-Richtung). Wenn nach der Magnetisierung der Stromfluß durch den elektrischen Leiter 77 beendet wird, wird der Zustand der Magnetisierung der Austausch-Vormagnetisierungsschicht d so, wie er ist, beibehalten, und deshalb wird die Magnetisierungsrichtung jeder fixierten Magnetschicht c so beibehalten, wie sie fixiert wurde.

Durch die oben beschriebenen Prozesse kann man einen Magnetsensor S3 erhalten, bei dem die Magnetisierungsrichtung jeder fixierten Magnetschicht in der in Fig. 8 gezeigten Weise gesteuert ist.

Wenn Magnetfelder erzeugt werden, indem durch den ersten elektrischen Leiter 75 und den zweiten elektrischen Leiter 76 Ströme geleitet werden, und diese durch die beiden elektrischen Leiter fließenden Ströme vorübergehend um 100 µs im Betrieb abweichen, so sind der Magnetisierungszustand der Austausch-Vormagnetisierungsschichten d in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement 31 und 32 einerseits und der Magnetisierungszustand der Austausch-Vormagnetisierungsschichten d in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement 33 und 34 andererseits wahrscheinlich nicht gleich. Deshalb ist es wichtig, den ersten elektrischen Leiter 75 und den zweiten elektrischen Leiter 76 an dieselbe Leistungsquelle anzuschließen und Magnetfelder in einem Zustand zu erzeugen, in welchem jegliche zeitliche Nacheilung beim Anlegen eines Magnetfelds ausgeschlossen wird.

Lassen sich allerdings zwei Leistungsquellen zur Magne-

tisierung so synchronisieren, daß jeglicher zeitlicher Versatz beim Anlegen eines Magnetfelds beseitigt ist, so kann man den Strom durch den ersten und den zweiten elektrischen Leiter 75 und 76 auch aus separaten Stromquellen nehmen, indem man sie an mehrere Stromquellen anschließt.

Wenn die Austausch-Vormagnetisierungsschicht d aus einer α -Fe₂O₃-Schicht, einer NiO-Schicht, einer IrMn-Schicht und einer CrPtMn-Schicht besteht, kann die Magnetisierung mit Hilfe einer solchen Magnetfeld-Aufprägevorrichtung unverzüglich erfolgen. Wird allerdings als Material für die Austausch-Vormagnetisierungsschicht d eine NiMn-Schicht, eine PdPtMn-Schicht, eine MnRhRu-Schicht oder eine PtMn-Schicht gewählt, so muß man zum Magnetisieren in der oben beschriebenen Weise zunächst eine Erwärmung auf eine Temperatur vornehmen, die gleich oder höher ist als die Sperrtemperatur. Das Bauelement ist dann betriebsfähig, obschon der Magnetisierungsvorgang kompliziert ist.

Fig. 10 zeigt eine vierte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Magnetfeldsensors S4, der den gleichen grundlegenden Aufbau hat wie der in Fig. 7 gezeigte Magnetfeldsensor S3. Ein Unterschied besteht darin, daß ein erstes Magnetowiderstandselement 31B entlang einer ersten Geraden T1 vorgesehen ist und ein zweites Magnetowiderstandselement 32B entlang einer zweiten Geraden T2 angeordnet ist, während ein drittes Magnetowiderstandselement 33B entlang einer dritten Geraden T3 und ein viertes Magnetowiderstandselement 34B entlang einer vierten Geraden T4 angeordnet ist. Diese erste, zweite, dritte und vierte Gerade T1, T2, T3 und T4 sind sämtlich zueinander parallel, wobei die Geraden T1 und T2 eng benachbart zueinander angeordnet sind, wie dies auch für die beiden Geraden T3 und T4 gilt.

Der Magnetfeldsensor S4 dieser Ausführungsform hat im übrigen den gleichen Aufbau wie der in Fig. 6 gezeigte Magnetfeldsensor und ist in der Lage, die gleichen Effekte zu zeitigen wie der Magnetfeldsensor S3 der vorausgehenden Ausführungsform.

Als Fertigungsverfahren bei der Herstellung des Magnetfeldsensors 54 kann das in Fig. 8 gezeigte Gerät nicht ohne Änderungen eingesetzt werden. Vielmehr muß der erste elektrische Leiter 75 gebogen und so verformt werden, daß er der Lage des ersten Magnetowiderstandselements 31B und der Lage des zweiten Magnetowiderstandselements 32B entspricht, während der zweite elektrische Leiter 76 so angeordnet werden muß, daß er der Lage des dritten und des vierten Magnetowiderstandselements 33B bzw. 34B entspricht.

Konkret: für den ersten elektrischen Leiter 75 ist es ratsam, eine solche Struktur zu wählen, daß ein abgelenkter Abschnitt zwischen einem gestreckten Abschnitt in der Nähe der Leistungsquelle 73 und einem gestreckten Abschnitt beabstandet von der Leistungsquelle 73 vorhanden ist (ein unterer Teil des Bereichs zwischen dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement 31B und 32B), um den abgelenkten Leiter mit beiden Magnetowiderstandselementen 31B und 32B auszurichten. Außerdem ist es für den elektrischen Leiter 76 ähnlich wie im Fall des Leiters 75 zu empfehlen, die Struktur so anzuordnen, daß ein abgelenkter Abschnitt im unteren Teil zwischen dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement 33B und 34B gebildet ist, um den Abschnitt mit dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement 33B und 34B mit Hilfe lediglich des zweiten elektrischen Leiters 76 auszurichten.

Geht man davon aus, daß eine Brückenschaltung aus vier Magnetowiderstandselementen gebildet wird, wie es bei jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen der Fall ist, so ist es zu bevorzugen, das erste und das zweite Magnetowiderstandselement auf der gleichen Gerade anzuordnen,

und auch das dritte und das vierte Magnetowiderstandselement auf der gleichen Geraden anzuordnen. Allerdings können die Magnetowiderstandselemente in einem etwas fehlausgerichteten Zustand angeordnet sein, wie es bei der Ausführungsform nach Fig. 10 der Fall ist. Außerdem muß man nicht sämtliche Magnetowiderstandselemente vollständig parallel zueinander anordnen. Im Fall einer Brückenschaltung kann man diese natürlich so anordnen, daß die Elemente derart geneigt sind, daß ein Nachweis des Widerstands mit unterschiedlichen Phasen nicht beeinflusst wird.

BEISPIELE

Auf einem Si-Substrat mit einer Länge von 3,6 mm und einer Breite von 3,6 mm wurden vier Magnetowiderstandselemente mit jeweils einer Breite von 0,05 mm und einer Länge von 1,75 mm parallel zueinander an den in Fig. 7 gezeigten Stellen ausgebildet, um einen die Grundstruktur aufweisenden Magnetfeldsensor zu bilden.

Für den Aufbau jedes Magnetowiderstandselements wurde eine Achtschichtstruktur mit folgendem Aufbau gewählt: Al₂O₃-Schicht (1000 Å dick)/ α -Fe₂O₃-Schicht (1000 Å dick)/NiFe-Schicht (30 Å dick)/Co-Schicht (10 Å dick)/Cu-Schicht (22 Å dick)/Co-Schicht (10 Å dick)/NiFe-Schicht (77 Å dick)/Ta-Schicht (30 Å dick). Zum Verbinden der Endabschnitte der Magnetowiderstandselemente diente ein elektrischer Leiter in Form einer Cr-Schicht mit der in Fig. 7 dargestellten Musterform.

Als nächstes wurde das Substrat in die in den Fig. 8 und 9 dargestellte Vorrichtung eingesetzt, durch den ersten Leiter und den zweiten Leiter wurde ein Strom von 3500 A geleitet, wobei die Leiter einen Durchmesser von 0,8 mm–0,9 mm Kupferdraht hatten, die Zeitspanne der Stromeinspeisung betrug 100 µs, um die Austausch-Vormagnetisierungsschicht zu magnetisieren. Auf diese Weise wurde ein Magnetfeldsensor erhalten.

Für ein äußeres Magnetfeld wurde an der flächigen Seite des Magnetfeldsensors S3 gemäß Fig. 11 ein zylindrischer Magnet 80 mit einem Zwischen-Spalt von 11 mm angeordnet. Dabei war der Magnetfeldsensor S3 festgelegt. Durch Drehen des zylindrischen Magneten 80 entlang seinem Umfang wurde eine sinusförmige symmetrische Kurve für das Magnetfeld erhalten, welches von dem Magnetfeldsensor erfaßt wurde. Man kann also die in Fig. 11 dargestellte Ausgangskurve erhalten, was bestätigt, daß der Magnetfeldsensor ordnungsgemäß arbeitet.

Gemäß obiger Beschreibung werden bei dem erfindungsgemäßen Magnetfeldsensor die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement, die auf der gleichen Geraden liegen, in derselben Richtung ausgerichtet, und die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement, die ebenfalls auf einer Geraden liegen, werden in die gleiche Richtung, jedoch um 180° verdreht, ausgerichtet. Das erste, zweite, dritte und vierte Magnetowiderstandselement werden miteinander verbunden, um eine Brückenschaltung mit den Magnetowiderstandselementen zu erhalten.

Die Magnetisierung der Austausch-Vormagnetisierungsschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement kann im gleichen Magnetfeld in gleicher Richtung kollektiv erfolgen, und die Magnetisierung der Austausch-Vormagnetisierungsschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement kann ebenfalls kollektiv im gleichen Magnetfeld für gleiche Richtung erfolgen. Die Erfindung ermöglicht also ein extrem einfaches Magnetisieren im Vergleich zu dem herkömmlichen Aufbau, bei dem die Notwendigkeit besteht, die vier Elemente

in vier voneinander unterschiedlichen Richtungen zu magnetisieren. Deshalb weist der erfindungsgemäße Magnetfeldsensor hohe Produktivität auf.

Erfindungsgemäß kann der Aufbau auch so sein, daß das erste, zweite, dritte und vierte Magnetowiderstandselement auf verschiedenen Geraden angeordnet sind, die zueinander parallel sind.

Da durch einfache Brückenverschaltung des ersten, zweiten, dritten und vierten Magnetowiderstandselements in einfacher Weise eine Wheatstone-Brücke gebildet werden kann, kann man einen Magnetfeldsensor schaffen, dessen Ausgangssignal gesteigert ist, bei dem in einfacher Weise magnetische Störfelder durch Umgebungstörungen ausgelöscht werden, und bei dem Magnetfelder mit hoher Genauigkeit erfaßt werden.

Die vorliegende Erfindung ist durch den Umstand gekennzeichnet, daß die Herstellung der Vorrichtung deshalb so einfach ist, weil die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement, die auf einer Geraden liegen, die gleiche Richtung bilden, wobei auch die Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement, die ebenfalls auf einer Geraden liegen, die gleiche Richtung haben, die gegenüber der Richtung bei dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement um 180° gedreht ist, demzufolge die Magnetisierungsrichtungen der insgesamt vier Magnetowiderstandselemente mit Hilfe von Magnetfeldern eingestellt werden können, die dadurch erzeugt werden, daß Ströme durch einen ersten und einen zweiten elektrischen Leiter geleitet werden, die entlang dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement bzw. dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement angeordnet sind.

Bei der erfindungsgemäßen Fertigungsverfahren wird zum Herstellen eines Magnetfeldsensors mit dem oben beschriebenen Aufbau eine Anordnung mit einem ersten und einem zweiten elektrischen Leiter geschaffen, die an eine Leistungsquelle angeschlossen sind. Der erste Leiter ist entlang dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement angeordnet, der zweite Leiter verläuft entlang dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement. Die durch die elektrischen Leiter fließenden Ströme erzeugen Magnetfelder, mit deren Hilfe ein einfaches Fixieren der Magnetisierungsrichtungen der fixierten Magnetschichten in einer gewünschten Richtung möglich ist.

Patentansprüche

1. Magnetfeldsensor (S1, S2, S3) mit mehreren Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen (31–34; 31A–34A), im folgenden als Magnetowiderstandselemente bezeichnet, die jeweils mindestens eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d), eine fixierte magnetische Schicht (c), deren Magnetisierungsrichtung (e, f) mit Hilfe der Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d) auf eine Richtung festgelegt wurde, eine nichtmagnetische Schicht (b) und eine freie magnetische Schicht (a), deren Magnetisierungsrichtung (k) durch ein äußeres Magnetfeld (H) frei drehbar ist, aufweisen, umfassend:
 - ein erstes und ein zweites Magnetowiderstandselement (31, 32; 31A, 32A), die entlang einer ihnen zugehörigen ersten Geraden (L1) angeordnet sind, so daß die Magnetisierung jeder ihrer fixierten magnetischen Schichten (c) in einer festen Richtung (e, f) orientiert ist; und
 - ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement (33, 34; 33A, 34A), die entlang einer

zweiten Geraden (L2) parallel zu der ersten Geraden (L1) angeordnet sind, wobei die Magnetisierung (e, f) ihrer fixierten magnetischen Schicht (c) gegenüber den Magnetisierungsrichtungen der fixierten magnetischen Schichten des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements (31, 32; 31A, 32A) um 180° versetzt ist.

2. Magnetfeldsensor (54) mit mehreren Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen (31B–34B), im folgenden als Magnetowiderstandselemente bezeichnet, die jeweils mindestens eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d), eine fixierte magnetische Schicht (c), deren Magnetisierungsrichtung (e, f) mit Hilfe der Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d) auf eine Richtung festgelegt wurde, eine nichtmagnetische Schicht (b) und eine freie magnetische Schicht (a), deren Magnetisierungsrichtung (k) durch ein äußeres Magnetfeld (H) frei drehbar ist, aufweisen, umfassend:
 - ein erstes, zweites, drittes und viertes Magnetowiderstandselement (31B–34B), die entlang einer ersten, zweiten, dritten bzw. vierten Geraden (T1, T2, T3, T4) angeordnet sind, die einander benachbart und im wesentlichen zueinander parallel sind;
 - wobei die Magnetisierung der jeweiligen fixierten Magnetschichten (c) in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement (31B, 32B) in eine feste Richtung orientiert ist; und
 - die Magnetisierung der jeweiligen fixierten magnetischen Schichten (c) in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement (32B, 34B) gegenüber den Magnetisierungsrichtungen der fixierten magnetischen Schichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement (31B, 32B) um 180° versetzt ist.

3. Magnetfeldsensor nach Anspruch 1 oder 2, bei dem in verschiedene Richtungen magnetisierte fixierte Magnetschichten (c) aufweisende Magnetowiderstandselemente (31, 32; 33, 34) in Reihe geschaltet sind und zwei Sätze von paarweisen Verbindungen (P1, P2) bilden, wobei ein Ende einer ersten paarweisen Verbindung der Magnetowiderstandselemente mit einem Ende einer zweiten paarweisen Verbindung von Magnetowiderstandselementen verbunden ist, um einen ersten Verbindungsabschnitt zu bilden, das andere Ende der zweiten paarweisen Verbindung (P2) von Magnetowiderstandselementen mit dem anderen Ende der ersten paarweisen Verbindung (P1) von Magnetowiderstandselementen verbunden ist, um einen zweiten Verbindungsabschnitt (48) zu bilden, jeweils Verbindungsabschnitte (42, 45) am Mittelpunkt der in Reihe geschalteten Magnetowiderstandselemente gebildet werden, und ein Eingangsanschluß (41, 48) an einem Paar der einen Verbindungsabschnitte (40, 47) und ein Ausgangsanschluß (43, 46) an einem Paar der anderen Verbindungsabschnitte (42, 45) gebildet ist.

4. Magnetfeldsensor (S2) nach Anspruch 1 oder 2, bei dem eine Seite (31b) des ersten Magnetowiderstandselements (31) mit einer Seite des vierten Magnetowiderstandselements (34) verbunden ist, eine Seite (32a) des zweiten Magnetowiderstandselements (32) mit einer Seite (33a) des dritten Magnetowiderstandselements (33) verbunden ist, die andere Seite (31a) des ersten Magnetowiderstandselements (31) mit der anderen Seite (33b) des dritten Magnetowiderstandselements (33) verbunden ist, und die andere Seite (32b) des zweiten Magnetowiderstandselements (32) mit der anderen Seite (34b) des vierten Magnetowiderstandselements (34) verbunden ist, wobei ein Eingangsan-

schluß (48, 53; 41, 62) angeschlossen ist an einen Abschnitt von einem Abschnitt zwischen einer Seite jedes Magnetowiderstandselements und einer Seite eines anderen Magnetowiderstandselements, und einem Abschnitt zwischen der anderen Seite jedes Magnetowiderstandselements und der anderen Seite eines weiteren Magnetowiderstandselements, während ein Ausgangsanschluß (46, 52; 43, 63) an den anderen Abschnitt angeschlossen ist.

5. Herstellungsverfahren für einen Magnetfeldsensor mit mehreren Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen (31-34; 31A-34A), im folgenden als Magnetowiderstandselemente bezeichnet, die jeweils mindestens eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d), eine fixierte magnetische Schicht (c), deren Magnetisierungsrichtung (e, f) mit Hilfe der Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d) auf eine Richtung festgelegt wurde, eine nichtmagnetische Schicht (b) und eine freie magnetische Schicht (a), deren Magnetisierungsrichtung (k) durch ein äußeres Magnetfeld (H) frei drehbar ist, aufweisen, umfassend folgende Schritte:

- ein erstes Magnetowiderstandselement und ein zweites Magnetowiderstandselement werden entlang einer ersten Geraden angeordnet, wobei ein erster elektrischer Leiter entlang der ersten Geraden verlaufend angeordnet wird,
- ein drittes Magnetowiderstandselement und ein viertes Magnetowiderstandselement werden entlang einer zweiten Geraden angeordnet, wobei ein zweiter elektrischer Leiter entlang der zweiten Geraden verlaufend angeordnet wird, es werden Ströme mit voneinander um 180° abweichenden Richtungen durch den ersten und den zweiten elektrischen Leiter geführt, um an jedem elektrischen Leiter Magnetfelder zu erzeugen, die Austausch-Vormagnetisierungsschicht in jedem Magnetowiderstandselement wird mit Hilfe der von jedem elektrischen Leiter erzeugten Magnetfelder so magnetisiert, daß hierdurch die Magnetisierung jeder der fixierten magnetischen Schichten (c) festgelegt wird, wobei die fixierten magnetischen Schichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement in einer festen Richtung orientiert sind und die Magnetisierungen der fixierten magnetischen Schichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement gegenüber den Richtungen der Magnetisierung in den fixierten magnetischen Schichten des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements um 180° versetzt sind.

6. Herstellungsverfahren für einen Magnetfeldsensor mit mehreren Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen (31B-34B), im folgenden als Magnetowiderstandselemente bezeichnet, die jeweils mindestens eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d), eine fixierte magnetische Schicht (c), deren Magnetisierungsrichtung (e, f) mit Hilfe der Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d) auf eine Richtung festgelegt wurde, eine nichtmagnetische Schicht (b) und eine freie magnetische Schicht (a), deren Magnetisierungsrichtung (k) durch ein äußeres Magnetfeld (H) frei drehbar ist, aufweisen, umfassend folgende Schritte:

- ein erstes, ein zweites, ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement (31B-34B) werden entlang einer ersten, einer zweiten, einer dritten bzw. einer vierten Geraden (T1-T4) angeordnet, welche parallel mit Abstand zueinander angeordnet sind, es wird ein erster elektrischer Leiter

entlang dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement angeordnet, es wird ein zweiter elektrischer Leiter entlang dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement angeordnet, es werden Ströme mit voneinander um 180° verschiedener Richtung durch den ersten bzw. den zweiten elektrischen Leiter geführt, um an jedem elektrischen Leiter Magnetfelder zu erzeugen, die Austausch-Vormagnetisierungsschicht in jedem Magnetowiderstandselement wird mit Hilfe der von jedem elektrischen Leiter erzeugten Magnetfelder magnetisiert, um dadurch die Magnetisierung jeder der fixierten magnetischen Schichten (c) festzulegen, wobei die fixierten magnetischen Schichten des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements in einer festgelegten Richtung orientiert werden und die fixierten magnetischen Schichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement in Richtungen festgelegt werden, die bezüglich der Richtungen des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements um 180° versetzt sind.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, bei dem erste elektrische Leiter und der zweite elektrische Leiter in Reihe geschaltet und zum Einspeisen von Strom an die gleiche Stromquelle angeschlossen sind.

8. Herstellungsvorrichtung für einen Magnetfeldsensor mit mehreren Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen (31-34; 31A-34A), im folgenden als Magnetowiderstandselemente bezeichnet, die jeweils mindestens eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d), eine fixierte magnetische Schicht (c), deren Magnetisierungsrichtung (e, f) mit Hilfe der Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d) auf eine Richtung festgelegt wurde, eine nichtmagnetische Schicht (b) und eine freie magnetische Schicht (a), deren Magnetisierungsrichtung (k) durch ein äußeres Magnetfeld (H) frei drehbar ist, aufweisen, umfassend:

- ein erstes und ein zweites Magnetowiderstandselement sind entlang einer ersten Geraden angeordnet, wobei entlang der ersten Geraden ein erster elektrischer Leiter angeordnet ist,
- ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement sind entlang einer zweiten Geraden angeordnet, und ein zweiter elektrischer Leiter ist entlang der zweiten Geraden angeordnet, eine Leistungsquelle zum Einspeisen von Strömen mit voneinander um 180° abweichenden Richtungen durch den ersten bzw. den zweiten elektrischen Leiter, wobei die fixierten magnetischen Schichten des ersten und des zweiten Magnetowiderstandselements in einer festen Richtung orientiert werden und die Magnetisierungen der fixierten magnetischen Schichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement gegenüber den Richtungen der fixierten magnetischen Schichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement um 180° versetzt sind.

9. Herstellungsvorrichtung für einen Magnetfeldsensor mit mehreren Riesenmagnetoresistenzeffekt-Elementen (31B-34B), im folgenden als Magnetowiderstandselemente bezeichnet, die jeweils mindestens eine Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d), eine fixierte magnetische Schicht (c), deren Magnetisierungsrichtung (e, f) mit Hilfe der Austausch-Vormagnetisierungsschicht (d) auf eine Richtung festgelegt wurde, eine nichtmagnetische Schicht (b) und eine freie magnetische Schicht (a), deren Magnetisierungsrichtung

(k) durch ein äußeres Magnetfeld (H) frei drehbar ist, aufweisen, umfassend:

- ein erstes, ein zweites, ein drittes und ein viertes Magnetowiderstandselement sind entlang einer ersten, einer zweiten, einer dritten bzw. einer vierten Geraden (T1–T4) angeordnet, die im wesentlichen parallel zueinander beabstandet sind, ein erster elektrischer Leiter verläuft entlang dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement, ein zweiter elektrischer Leiter verläuft entlang dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement, eine Leistungsquelle dient zum Einspeisen von Strömen mit voneinander um 180° abweichenden Richtungen durch den ersten bzw. den zweiten elektrischen Leiter, wobei die fixierten magnetischen Schichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement in einer festen Richtung orientiert werden und die Magnetisierungen der fixierten magnetischen Schichten in dem dritten und dem vierten Magnetowiderstandselement bezüglich der Richtungen der fixierten magnetischen Schichten in dem ersten und dem zweiten Magnetowiderstandselement um 180° versetzt sind:

10. Fertigungsverfahren nach Anspruch 8 oder 9, bei dem der erste elektrische Leiter und der zweite elektrische Leiter in Reihe geschaltet an dieselbe Leistungsquelle angeschlossen sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, bei dem der erste und der zweite elektrische Leiter als Schleife in Reihe geschaltet und an dieselbe Leistungsquelle angeschlossen sind.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

35

40

45

50

55

60

65

- Leerseite -

FIG. 1

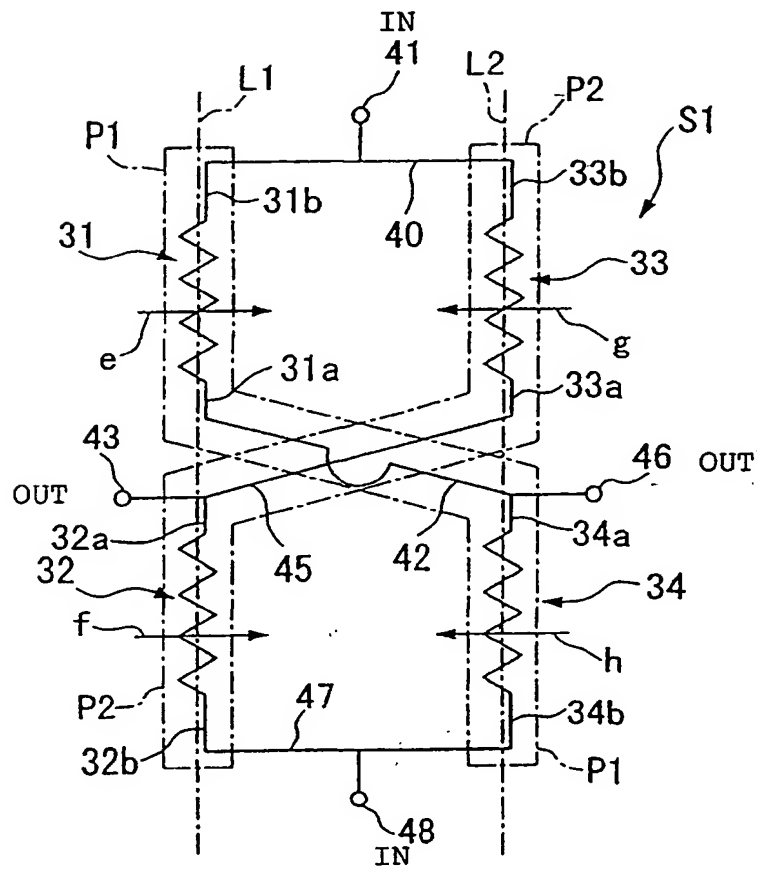


FIG. 2

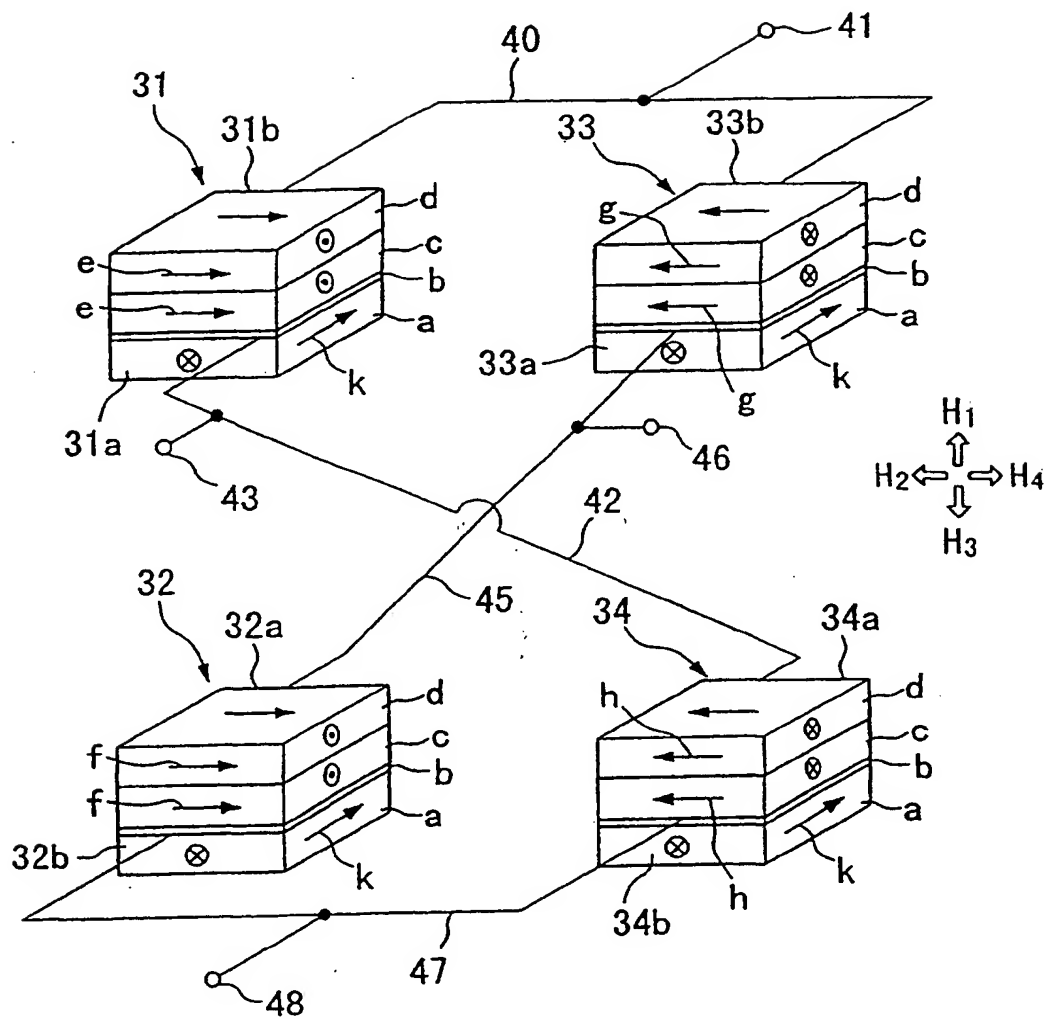


FIG. 3

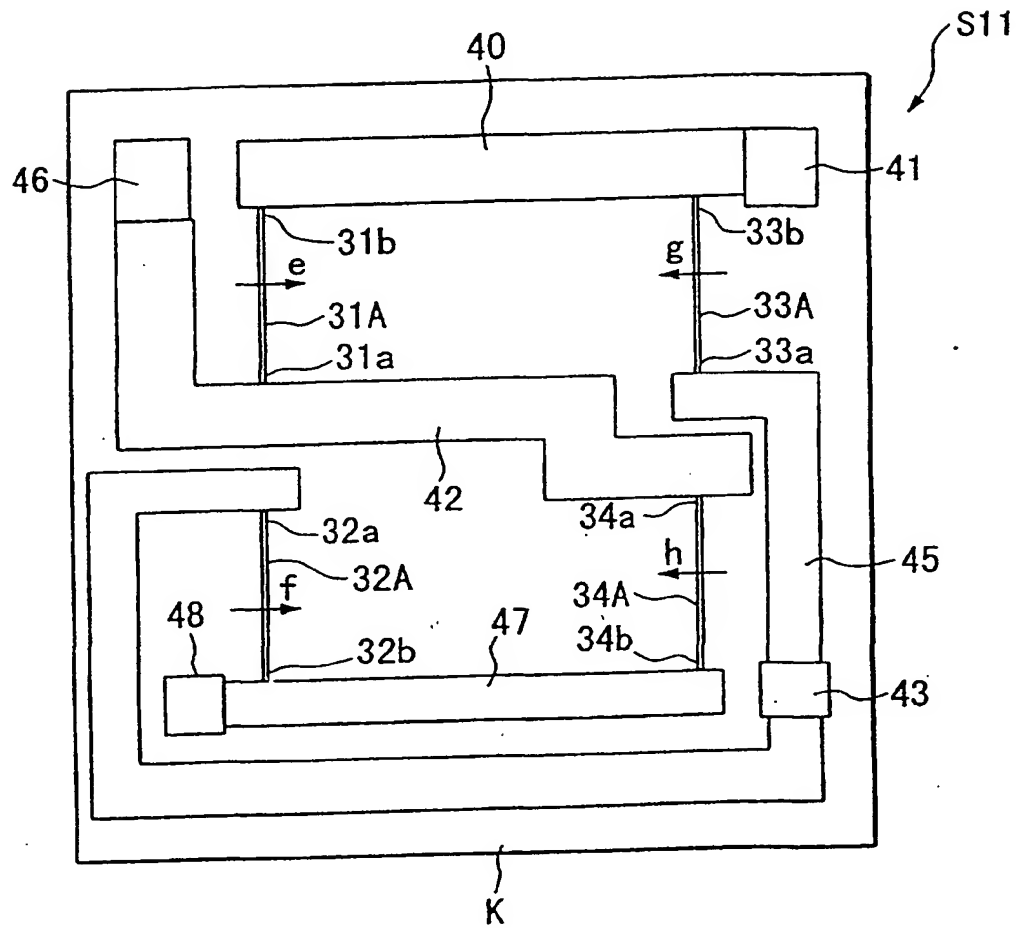


FIG. 4

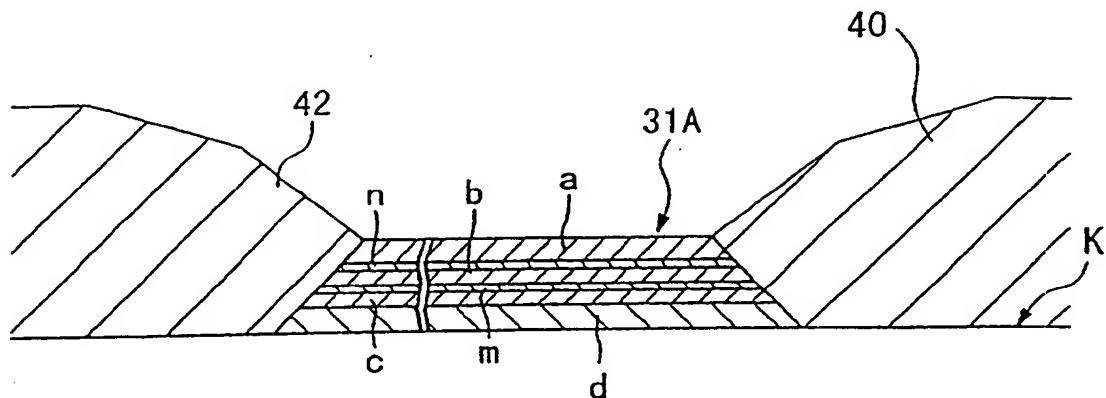


FIG. 5

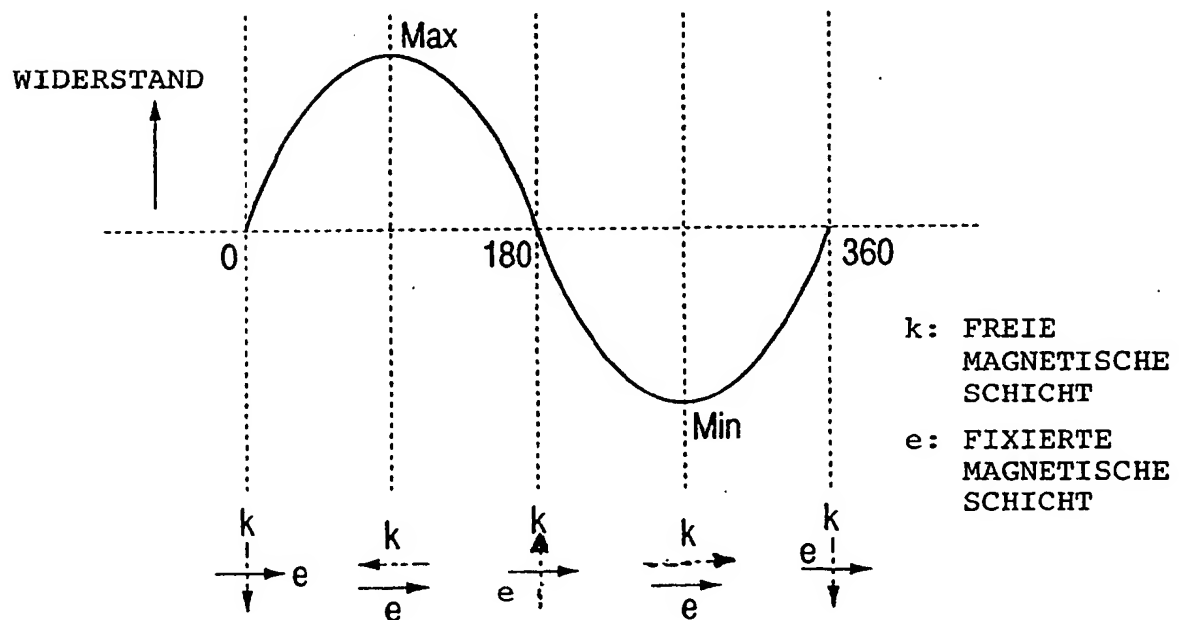


FIG. 6

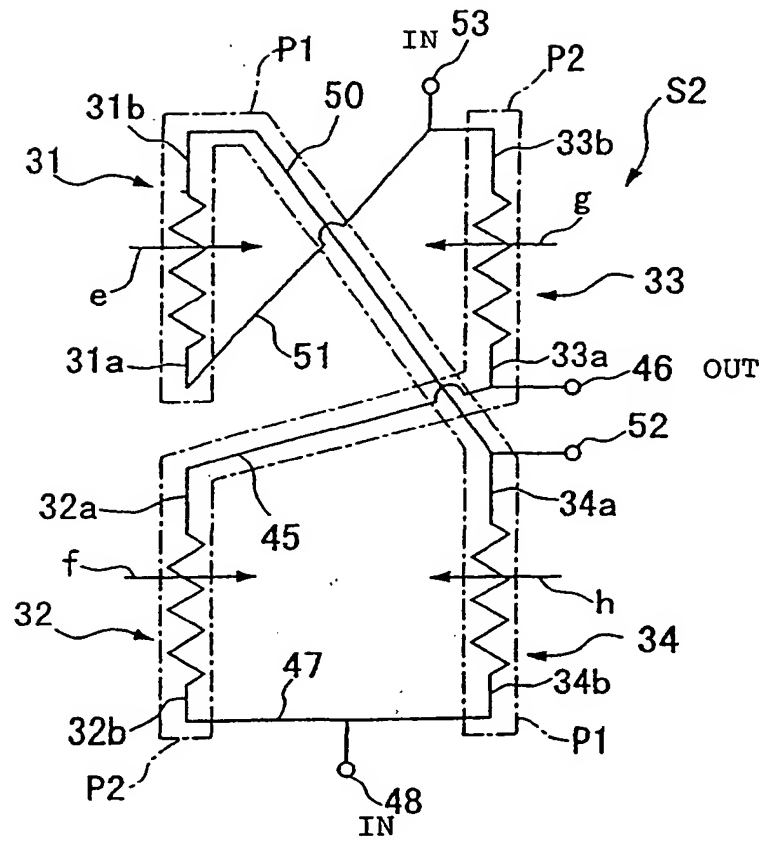


FIG. 8

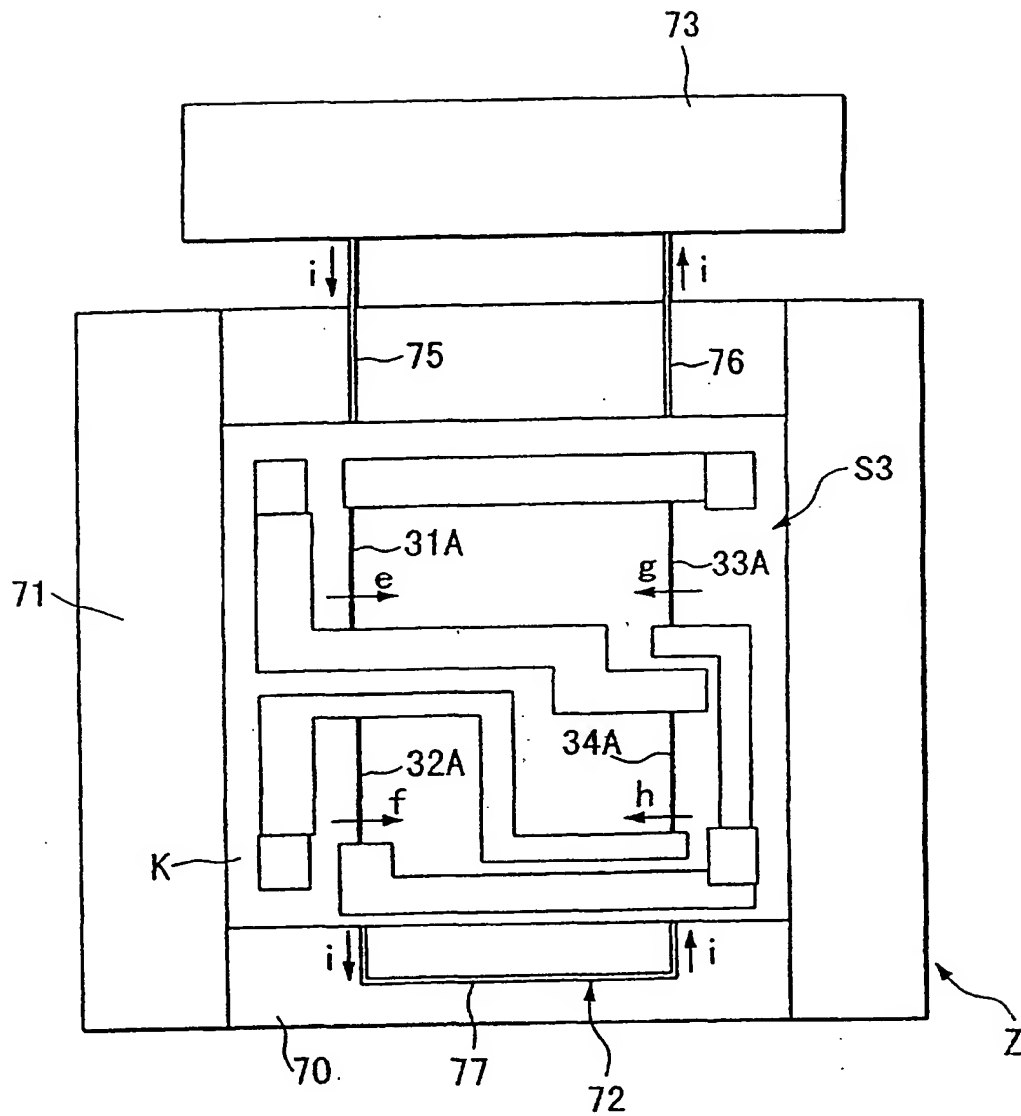


FIG. 9

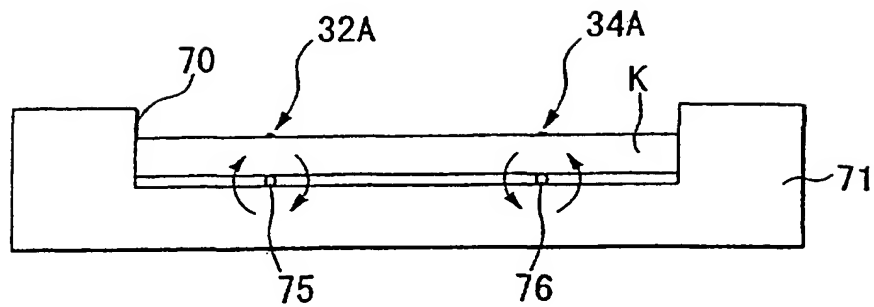


FIG. 10

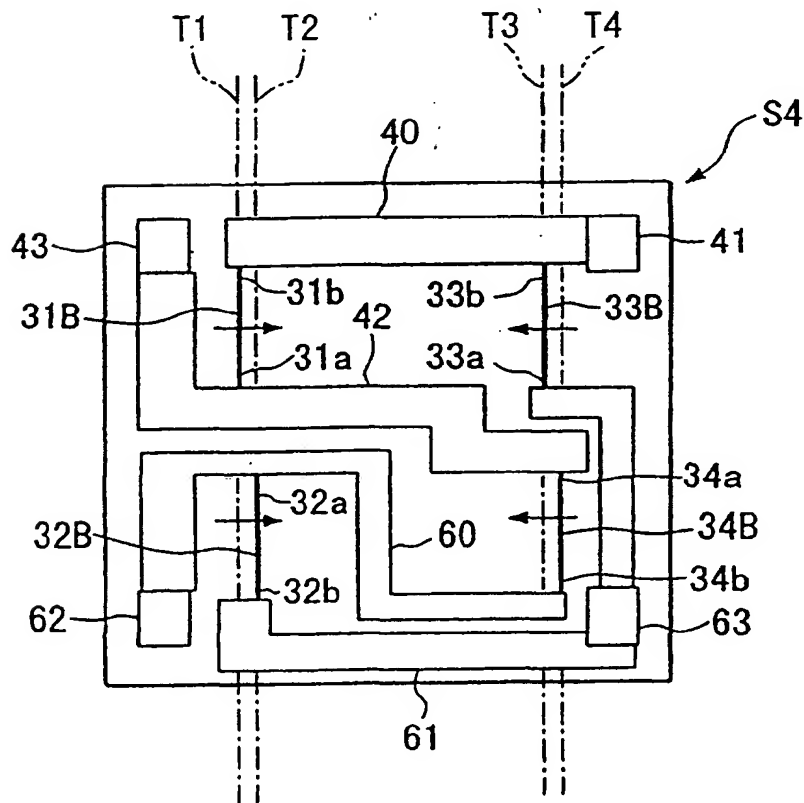


FIG. 11

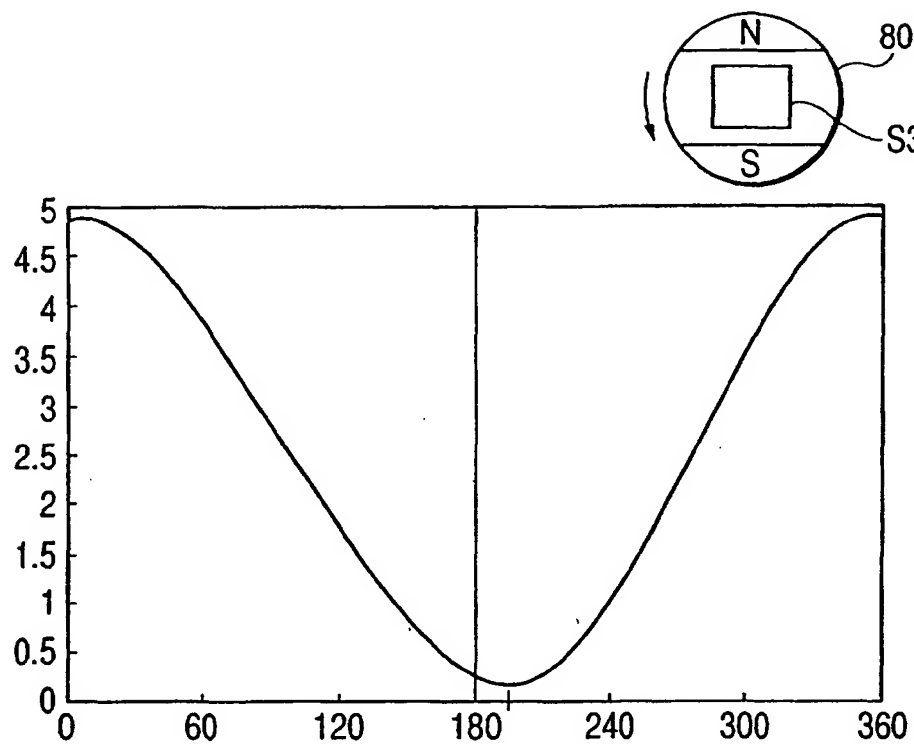


FIG. 12

STAND DER TECHNIK

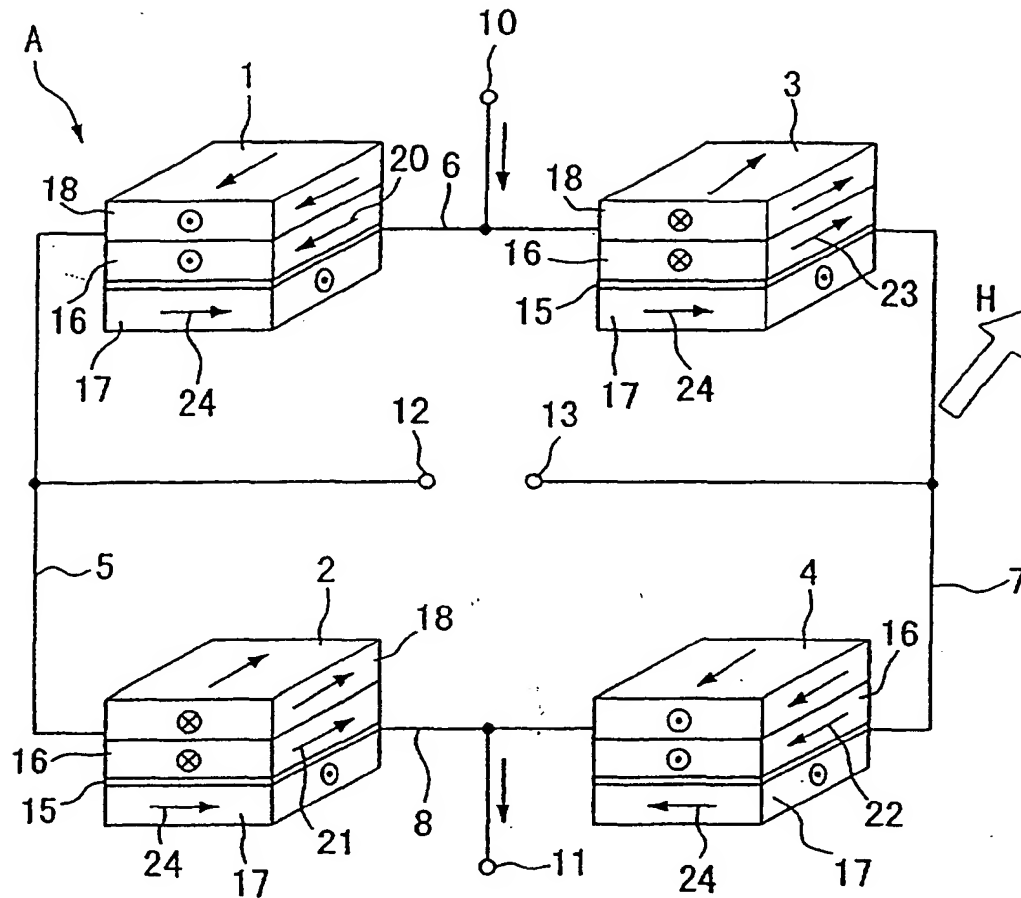


FIG. 13

STAND DER TECHNIK

